环境温度对肉羊有害气体排放、环境微生物和血清生化指标的影响[1]

朱　伟[1,2]　冯培功[2]　马君军[2]　张　然[2]　郑　琛[2]　杨华明[1]　班志彬[1]

梁　浩[1]　闫晓刚[1*]

（1.吉林省农业科学院畜牧科学分院，公主岭 136100；2.甘肃农业大学动物科学技术学院，兰州 730070）

摘　要：本试验研究了环境温度对杂交肉羊呼吸代谢室内氧气（O_2）、二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）、氨气（NH_3）和硫化氢（H_2S）的浓度以及微生物数量和肉羊血清生化指标的影响。试验采用单因子试验设计，设 3 个环境温度范围：10~15 ℃、20～25 ℃、30~35 ℃。选择 1 岁左右、体况良好、体重（35.34±1.07） kg 的杂交公羊(杜泊羊♂×小尾寒羊♀)24 只，随机分为 3 组，每组 8 只羊。预试期 7 d，正试期 10 d。正试期内利用呼吸代谢室进行气体和微生物检测试验。正试期第 10 天早晨采血，测定肉羊血清中肾上腺皮质酮（CORT）、免疫球蛋白（IgG）浓度和肌酸激酶（CK）和乳酸脱氢酶（LDH）活性。结果表明：1）温度对呼吸代谢室内 CH_4、NH_3 浓度有极显著影响（P<0.01），其中 10~15 ℃呼吸代谢室内 CH_4 排放量极显著高于 20~25 ℃和 30~35 ℃呼吸代谢室内 CH_4 排放量（P<0.01），30~35 ℃呼吸代谢室内 NH_3 排放量极显著高于 10~15 ℃和 20~25 ℃呼吸代谢室内 NH_3 排放量（P<0.01）；但对 CO_2 和 H_2S 浓度无显著影响（P>0.05）。2）30~35 ℃呼吸代谢室内大肠杆菌数量极显著高于 10~15 ℃和 20~25 ℃吸代谢室内大肠杆菌数量（P<0.01）。在 30~35 ℃和 20~25 ℃呼吸代谢室内沙门氏菌和总菌数量极显著高于 10~15 ℃呼吸代谢室内的沙门氏菌和总菌数量（P<0.01）。3）温度对肉羊血清中 CORT、IgG 浓度和 CK、LDH 活性未产生显著影响（P>0.05）。综上所述，不同环境温度可影响肉羊有害气体的排放及微生物的数量，但对肉羊血清生化指标没有显著影响。

关键词：温度；肉羊；有害气体；微生物；血清生化指标

收稿日期：2018-04-24

基金项目：国家重点研发计划项目(2016YFD0500504)

作者简介：朱　伟（1992—），男，甘肃兰州人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养。E-mail: zhuwei910518@163.com

*通信作者：闫晓刚，副研究员，硕士生导师，E-mail: yanxiaogang1977@163.com

中图分类号：S　　　　　　　　　　文献标识码：　　　　　　　　　　文章编号：

畜舍环境中二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）、氨气（NH_3）和硫化氢（H_2S）等有害气体对动物的生长性能、繁殖性能和呼吸道黏膜等造成严重伤害，而且还威胁饲养人员健康。CO_2 和 CH_4 等主要温室气体一直被世界视为全球温度上升的罪魁祸首，尤其牛、羊等反刍动物所排放的 CH_4 是 CO_2 所产生温室效应的 25 倍。温度显著影响畜禽粪便中脲酶活性[1]，使粪中更多的 NH_4^+ 转化为 NH_3，而且使含硫有机物经细菌分解产生 H_2S。温度也是畜舍内细菌滋生、粪便发酵分解产生有毒有害气体及各种恶臭的最主要影响因子，在环境参数中占主导地位，当舍内温度升高时，引起家畜咳嗽、打喷嚏、争斗等行为这都会增大环境悬浮颗粒物含量，而一般含量为 10^3~10^6 粒/m^3。所以凡是能使环境微粒增多的因素，都可能造成环境微生物数量增加，而一般空气中悬浮颗粒物运动速率与温度有着密切的相关性，即温度越高，微粒运动速率越快。同时，当畜舍环境中的有害气体（CO_2、CH_4、NH_3 和 H_2S）浓度过高[2]或温度过高[3-4]，都可能造成家畜呼吸道黏膜损伤，血清生化指标（总蛋白、酶、糖皮质激素等）、免疫功能降低。本试验通过测定和分析不同温度条件下肉羊氧气（O_2）、CO_2、CH_4、NH_3 和 H_2S 浓度以及环境微生物数量和杂交肉羊血清生化指标的变化规律，为有效控制有害气体排放，改善畜舍环境提供理论依据和参考。

1　材料与方法

1.1　试验设计与试验动物

试验采用单因子试验设计，设 3 个环境温度范围：10~15 ℃、20~25 ℃、30~35 ℃。选择 1 岁左右、体况良好、体重（35.34±1.07） kg 的杂交公羊（杜泊羊♂×小尾寒羊♀）24 只，随机分为 3 组，每组 8 只羊，预试期 7 d，正试期 10 d，每只羊进入和离开呼吸测热代谢室时均称重，并用平均值作为该羊呼吸测热期体重。

1.2　试验饲粮

试验饲粮参考中国农业行业标准《肉羊饲养标准》(NY/T 816-2004)营养需要推荐量配置，其组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the experimental diet (DM basis)　　%

项目 Items	含量 Content

原料 Ingredients	
羊草 Chinese wildrye	44.06
苜蓿干草 Alfalfa hay	23.95
玉米 Corn	3.15
小麦麸 Wheat bran	10.30
豆粕 Soybean meal	3.80
菜籽粕 Rapeseed meal	3.28
米糠粕 Rice bran meal	6.56
棉籽粕 Cottonseed meal	2.87
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS	1.31
石粉 Limestone	0.72
食盐 NaCl	0.50
添加剂预混料 Additive premix[1)]	0.30
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
干物质 DM	86.80
代谢能 ME/(MJ/kg)	10.54
粗蛋白质 CP	11.78
粗脂肪 EE	2.80
粗灰分 Ash	8.12
中性洗涤纤维 NDF	53.69
酸性洗涤纤维 ADF	31.15
钙 Ca	0.81
磷 P	0.34

[1)] 添加剂预混料为每千克饲粮提供 The additive premix provided the following per kg of the diet：Fe 38 mg，Zn 44 mg，Cu 15 mg，I 0.5 mg，Mn 50 mg，Se 0.3 mg，Co 0.05 mg，VA 354 IU，VD 94.4 IU，VE 1.06 mg。

2) 代谢能根据 NRC(2001)计算。ME was calculated according to NRC(2001).

1.3　饲养管理

预试前每只试验羊口服伊维菌素片进行驱虫处理，试验羊在代谢笼内单独饲养，每日饲喂 2 次（07:00、18:00），自由饮水。

1.4　指标测定与方法

1.4.1　饲粮营养成分测定

饲粮样品中干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、有机物（OM）、粗灰分（Ash）、粗脂肪（EE）、钙（Ca）、磷（P）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）含量的测定分别按照 GB/T 6435-2006、GB/T 6432-1994、GB/T 6438-2007、GB/T 6434-1994、GB/T 6433-2006、GB/T 6436-2002 和 GB/T 20806-2006 的方法进行。

1.4.2　O_2、CO_2、CH_4、NH_3 和 H_2S 浓度测定

呼吸测热装置的气路结构流程如文献[5-6]所示，该装置由进排气装置、呼吸小室、高精度气体在线分析仪、数据采集控制仪和温湿度控制系统组成。1）进排气装置，进入和排出呼吸室的空气流量为 0.01～2.00 L/min。2）呼吸小室，容积为 3.20 m^3，均由有机玻璃制成。小室内设有专用的喂料槽和饮水容器以及粪、尿收集设施。呼吸室均与该装置中的电路、气路系统相连。3）吉林省农业科学院畜牧科学分院自主研制的高精度气体在线分析仪，气体分析仪参数：O_2 量程 0~1.2%，±0.2%，分辨率 1.0 mg/m^3；CO_2 量程 0~1.5%，±0.2%，分辨率 1.0 mg/m^3；CH_4 量程 0~0.2%，±0.02%，分辨率 1.0 mg/m^3。校正:为了在分析过程中保证分析仪的准确性，分别用不同浓度的标准气体校正 O_2、CO_2 和 CH_4 的气体传感器，使之达到真正的准确性。4）数据采集控制仪，该系统由电脑控制，根据试验研究的不同需要，可分别提供单通道、双通道、三通道、四通道共 4 种采集分析模式。5）温湿度控制系统，呼吸小室内的可控温度为-5～50 ℃；可控湿度为 40%～85%。呼吸代谢室可以按不同试验研究目的和要求进行控制。

O_2、CO_2 和 CH_4 气体：本试验正试期开始将单只试羊放入代谢笼中，然后推入呼吸代谢室内，通过探头依次测定每个代谢室内的 O_2、CO_2 和 CH_4 的浓度，开始连续 10 d 气体测定。每个小室内系统采集气体 1 次需要 3 min，采集后系统会根据室内外 O_2、CO_2 和 CH_4 浓度，

统计各时间点试羊产生的CH_4、CO_2浓度和消耗的O_2浓度及呼吸熵，试验结果自动保存。

消耗的O_2浓度（L/min）=[进呼吸室空气量（L/min）×户外空气O_2浓度]-[排出呼吸室空气量（L/min）×呼吸室内O_2浓度]；

产生的CO_2浓度（L/min）=[排出呼吸室空气量（L/min）×室内CO_2浓度]-[进呼吸室空气量（L/min）×室外CO_2浓度]；

产生的CH_4浓度（L/min）=[排出呼吸室空气量（L/min）×室内CH_4浓度]-[进呼吸室空气量（L/min）×室外CH_4浓度]；

呼吸熵（R.Q.）=产生的CO_2浓度/消耗的O_2浓度。

NH_3和H_2S气体：NH_3浓度测定采用靛酚蓝比色法测定（GB/T 18204.25-2000），H_2S浓度测定采用亚甲基蓝比色法测定（GB11742-1989）。在正试期每天11:00、14:00和17:00各测定1次，每次测定前用大型气泡吸收管吸取10 mL NH_3和H_2S标准吸收液，打开呼吸代谢室抽气阀门，调节微型气泵以0.5和1.5 L/min流量分别抽取5和30 L的NH_3和H_2S，采样后的样品置于暗处，并在6 h内比色，并记录采样时的温度和大气压力。

1.4.3　微生物数量测定

正试期每天饲喂前（07:00、18:00）按照环境监测技术规范要求设计采样点，采用五点采样法，高度为距离呼吸代谢室地面1.5 m，把倒好的培养皿分别放置于固定位点15 min后取出，记录采样点和呼吸室编号，在37 ℃恒温培养箱中培养24 h，计算平板菌落数，按照奥氏公式[7]计算呼吸代谢室内大肠杆菌（麦康凯琼脂培养基）、金黄色葡萄球菌（甘露醇氯化钠琼脂）、沙门式菌（SS琼脂）、总菌（营养琼脂NA）数量。以上培养基均购自青岛海博生物技术有限公司。微生物数量计算公式如下：

$$C=\frac{N\times 5\times 10^4}{A\times T}$$

式中：C为空气细菌数（CFU/m^3）；N为菌落数（个）；A为平皿面积（cm^2）；T为采样时间（min）。

1.4.4　血清生化指标测定

在正试期第10天早晨采集试验羊颈静脉血液5 mL，测定血清中肾上腺皮质酮（CORT）、

免疫球蛋白（IgG）浓度和肌酸激酶（CK）和乳酸脱氢酶（LDH）活性。采用试剂盒测定，试剂盒购自上海酶联生物科技有限公司。

1.5　统计方法

试验数据经 Excel 2016 整理后，采用 SPSS 19.0 软件的 one-way ANOVE 进行方差分析，差异显著的采用 Duncan 氏法进行多重比较，并列出 SEM 和 *P* 值，$P<0.05$ 为差异显著，$P<0.01$ 为差异极显著。

2　结果与分析

2.1　环境温度对肉羊 CO_2 和 CH_4 排放的影响

由表 2、表 3 可知，环境温度对呼吸代谢室内 CO_2 浓度无显著影响（$P>0.05$），从 08:00 至 16:00，呼吸代谢室内 CO_2 浓度先升高后降低，最低浓度出现在 08:00，其浓度为 4 257.09 mg/m^3、220.96 mg/m^3 W$^{0.75}$，10:00 时达到最大浓度 10 275.89 mg/m^3、538.66 mg/m^3 W$^{0.75}$。由表 4、表 5 可知，除了 08:00 以外，其他时间在 10~15 ℃呼吸代谢室内 CH_4 浓度极显著高于 20~25 ℃和 30~35 ℃呼吸代谢室内 CH_4 浓度（$P<0.01$）。在 08:00~16:00 时间段，呼吸代谢室内 CH_4 浓度整体先升高后降低，在 11:00 出现峰值 250.62 mg/m^3、13.04 mg/m^3 W$^{0.75}$，最低浓度为 119.19 mg/m^3、6.03 mg/m^3 W$^{0.75}$。20~25 ℃温度条件下，在各时间点呼吸代谢室内 CH_4 浓度均低于 10~15 ℃和 30~ 35 ℃呼吸代谢室内 CH_4 浓度，最低为 7.05 mg/m^3、0.05 mg/m^3 W$^{0.75}$。

表 2　环境温度对肉羊 CO_2 排放的影响

Table 2　Effects of ambient temperature on CO_2 emission from mutton sheep　　mg/m^3

时间 Time	温度范围 Temperatures range/℃			SEM	*P* 值 *P*-value
	10~15	**20~25**	**30~35**		
08:00	4 257.09	5 535.96	5 098.49	466.686	0.552
09:00	7 607.19	7 058.36	7 227.68	491.605	0.913
10:00	7 860.83	10 275.89	10 183.16	521.638	0.101
11:00	7 502.83	9 798.73	9 785.03	499.331	0.093
12:00	7 199.10	8 959.01	8 516.33	466.941	0.138
13:00	7 299.77	8 687.27	8 462.21	456.424	0.439

14:00	7 160.56	7 958.76	8 375.55	410.312	0.492
15:00	7 087.88	8 616.05	8 365.33	375.758	0.212
16:00	6 948.41	8 586.61	8 535.29	382.513	0.147

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同大写字母表示差异极显著（P<0.01），不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

Values with no letter or the same letter superscripts within a row means no significant difference (P>0.05), while with different capital letter superscripts means significant difference (P<0.01), with different small letter superscripts means significant difference (P<0.05). The same as below.

表 3　环境温度对肉羊单位代谢体重 CO_2 排放的影响

Table 3　Effects of ambient temperature on CO_2 emissions from metabolism of units in mutton sheep　　mg/m^3 ·W$^{0.75}$

时间 Time	温度范围 Temperatures range/℃			SEM	P 值 P-value
	10~15	**20~25**	**30~35**		
08:00	220.96	269.94	292.21	24.209	0.491
09:00	396.12	373.57	382.49	25.908	0.948
10:00	408.66	538.66	542.64	26.803	0.063
11:00	389.66	517.45	517.68	25.686	0.057
12:00	374.41	473.20	496.74	24.041	0.086
13:00	379.62	447.20	458.69	23.466	0.342
14:00	372.43	420.52	442.93	21.050	0.396
15:00	368.78	442.73	455.09	19.256	0.145
16:00	361.11	451.65	453.69	19.612	0.081

表 4　环境温度对肉羊 CH_4 排放的影响

Table 4　Effects of ambient temperature on CH_4 emissions from mutton sheep　　mg/m^3

时间 Time	温度范围 Temperatures range/℃			SEM	P 值 P-value
	10~15	**20~25**	**30~35**		
08:00	43.30[a]	7.05[b]	22.15[ab]	7.462	0.032
09:00	203.39[Aa]	63.91[Bb]	111.41[Bb]	19.652	0.000
10:00	250.09[Aa]	114.73[Bb]	158.07[Bb]	16.008	0.000
11:00	250.62[Aa]	119.19[Bb]	140.55[Bb]	16.533	0.000
12:00	227.59[Aa]	92.49[Bb]	139.76[Bb]	16.190	0.000
13:00	217.23[Aa]	87.67[Bb]	118.20[Bb]	15.711	0.000
14:00	193.21[Aa]	63.18[Bb]	105.82[Bb]	17.895	0.000
15:00	185.09[Aa]	66.60[Bb]	119.53[Bb]	14.541	0.000
16:00	166.69[Aa]	48.92[Bb]	80.97[Bb]	13.087	0.000

表 5 环境温度对肉羊单位代谢体重 CH_4 排放的影响

Table 5 Effects of ambient temperature on CH_4 emissions from metabolic body weight in mutton sheep $mg/m^3 \cdot W^{0.75}$

时间 Time	温度范围 Temperatures range/℃			SEM	P 值 P-value
	10~15	**20~25**	**30~35**		
08:00	2.26[a]	0.05[b]	1.19[ab]	0.392	0.011
09:00	10.61[Aa]	3.38[Bb]	5.92[Bb]	1.031	0.000
10:00	13.01[Aa]	6.06[Bb]	8.45[Bb]	0.829	0.000
11:00	13.04[Aa]	6.03[Bb]	7.52[Bb]	0.857	0.000
12:00	11.85[Aa]	4.90[Bb]	7.47[Bb]	0.847	0.000
13:00	11.31[Aa]	4.62[Bb]	6.32[Bb]	0.819	0.000
14:00	10.11[Aa]	3.35[Bb]	5.66[Bb]	0.937	0.000
15:00	9.65[Aa]	3.53[Bb]	5.33[Bb]	0.769	0.000
16:00	8.69[Aa]	2.59[Bb]	4.33[Bb]	0.682	0.000

2.2 环境温度对肉羊 CO_2 和 CH_4 总排放的影响

由表 6 可知，环境温度对肉羊呼吸代谢室内 CO_2 总排放量无显著影响（P>0.05），但对 CH_4 排放量有极显著影响（P<0.01）。在 10~15 ℃呼吸代谢室内 CH_4 排放量极显著高于 20~25 ℃和 30~35 ℃呼吸代谢室内 CH_4 排放量，分别是其他 2 组呼吸代谢室内 CH_4 排放量的 2.13 倍、1.83 倍（P<0.01）。在 20~25 ℃呼吸代谢室内 CH_4 排放量低于 10~15 ℃和 30~35 ℃呼吸代谢室内 CH_4 排放量；30~35 ℃和 20~25 ℃呼吸代谢室内呼吸熵极显著高于 10~15 ℃呼吸代谢室呼吸熵（P<0.01）。在 10~15 ℃，肉羊干物质采食量显著高于 30~35 ℃采食量（P<0.05）。

表 6 环境温度对肉羊 CO_2、CH_4 总排放量及呼吸熵的影响

Table 6 Effects of ambient temperature on total emissions of CO_2 and CH_4 and respiratory quotient of mutton sheep

项目 Items		温度范围 Temperatures range/℃			SEM	P 值 P-value
		10~15	20~25	30~35		
干物质采食量 DMI/(g/d)		1 429.55[a]	1 353.69[ab]	1 264.72[b]	26.179	0.016
呼吸熵 Respiratory quotient		0.93[Bb]	0.99[Aa]	1.00[Aa]	0.012	0.009
消耗 O_2 浓度	L/d	391.73	399.59	433.48	18.554	0.665
Consumption O_2 concentration	$L/W^{0.75}$	20.35	20.67	22.91	0.924	0.512
产生 CO_2 浓度	L/d	366.16	382.65	416.09	16.830	0.512
Production CO_2 concentration	$L/W^{0.75}$	19.20	19.80	22.00	0.848	0.363
产生 CH_4 浓度	L/d	27.80[Aa]	13.06[Bb]	15.19[Bb]	2.393	0.007
Production CH_4 concentration	$L/W^{0.75}$	1.45[Aa]	0.67[Bb]	0.80[Bb]	0.123	0.006

2.3 环境温度对肉羊 NH_3 和 H_2S 排放的影响

由表 7 可知，温度对呼吸代谢室内 NH_3 排放量影响极显著（P<0.01），30~35 ℃呼吸代谢室内 NH_3 排放量分别极显著高于 10~15 ℃和 20~25 ℃呼吸代谢室内 NH_3 排放量（P<0.01），，但温度对呼吸代谢室内 H_2S 排放无显著影响（P>0.05）。

表 7 环境温度对肉羊 NH_3 和 H_2S 排放的影响

Table 7　Effects of ambient temperature on NH_3 and H_2S emissions from mutton sheep

项目 Items		温度范围 Temperatures range/℃			SEM	P 值
		10~15	20~ 25	30~ 35		P-value
氨气 NH_3	mg/m^3	0.710^{Bb}	1.060^{Bb}	1.350^{Aa}	0.084	0.002
	mg/m^3 ·W$^{0.75}$	0.030^{Bb}	0.040^{Bb}	0.060^{Aa}	0.003	0.003
硫化氢 H_2S	mg/m^3	0.006	0.007	0.004	0.001	0.737
	mg/m^3 ·W$^{0.75}$	0.000 5	0.000 5	0.000 4	0.000 0	0.766

2.4　环境温度对呼吸代谢室内微生物数量的影响

由表 8 可知，在 30~35 ℃呼吸代谢室内大肠杆菌数量极显著高于 10~15 ℃和 20~25 ℃呼吸代谢室内大肠杆菌数量（P<0.01）；30~35 ℃呼吸代谢室内沙门氏菌和总菌数量极显著高于 10~15 ℃呼吸代谢室内沙门氏菌和总菌数量（P<0.01），但对 20~25 ℃呼吸代谢室内沙门氏菌和总菌数量无显著影响（P>0.05）；温度对呼吸代谢室内金黄色葡萄球菌数量无显著影响（P>0.05）。

表 8　环境温度对呼吸代谢室内微生物数量的影响

Table 8　Effects of ambient temperature on number of microorganisms in respiratory metabolic chamber　CFU/m^3

项目 Items	温度范围 Temperatures range/℃			SEM	P 值
	10~15	20~25	30~35		P-value
大肠杆菌 *Escherichia coli*	265^{Bb}	236^{Bb}	393^{Aa}	28	0.039
沙门氏菌 *Salmonella*	250^{Bb}	314^{ABab}	407^{Aa}	29	0.082
金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus*	2 879	2 437	2 535	388	0.896
总菌 Total bacteria	2 663^{Bb}	4 197^{ABab}	5 642^{Aa}	429	0.011

2.5　环境温度对肉羊血清生化指标的影响

由表 9 可知，环境温度对肉羊血清中 CORT、IgG 浓度和 CK、LDH 活性均无显著影响

（$P>0.05$）。

表 9　环境温度对肉羊血清生化指标的影响

Table 9　Effects of ambient temperature on serum biochemical index of mutton sheep

项目 Items	温度范围 Temperatures range/℃			SEM	***P* 值**
	10~15	20~25	30~35		***P*-value**
肾上腺皮质酮 CORT/(ng/mL)	47.84	53.73	57.93	3.662	0.612
免疫球蛋白 G IgG/(μg/mL)	305.05	328.77	312.12	15.831	0.654
肌酸激酶 CK/(ng/mL)	47.57	43.68	39.73	1.984	0.377
乳酸脱氢酶 LDH/(ng/mL)	6.55	6.28	6.91	0.400	0.853

3　讨　论

3.1　环境温度对肉羊 CO_2 和 CH_4 排放的影响

反刍动物瘤胃发酵中产生的气体速度以采食时最快，其组成为 CO_2 40%、CH_4 30%~40%，所以 CO_2 和 CH_4 排放量呈先升高后降低趋势，其中一部分 CO_2 是发酵的副产物，另一部分是有机酸和唾液中碳酸盐反应生成，但所产生的 CO_2 大部分还原形成 CH_4，部分被微生物利用。CO_2 为在动物有机体活细胞内，在酶的催化下，以葡萄糖和氧为原料，经过三羧酸循环（TCA）等一系列的氧化还原反应生成终产物，同时为机体提供能量（ATP），是机体正常生理活动的终产物。其在体内总反应式如下，无氧呼吸：$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH+2CO_2+ATP$；有氧呼吸：$C_6H_{12}O_6+6H_2O+6O_2 \rightarrow 6CO_2+12H_2O+ATP$。本试验结果表明，环境温度对 CO_2 排放量无显著影响，这可能是因为哺乳动物可以通过机体产热和散热调节使体温相对恒定，温度对机体生理活动没有产生影响。影响动物 CO_2 排放量的因素主要有温度、畜舍结构和饲养密度等。目前已发表的关于温度对动物 CO_2 排放量影响的试验结果大多与本试验结果类似。陈家宏[8]在夏季羊舍小气候环境监测数据发现，随环境温度变化 CO_2 浓度保持在一个相对稳定的状态，且主要分布在与畜体等高的空间。欧阳宏飞[9]通过检测新疆冬季密闭羊舍的环境参数发现，CO_2 浓度始终在 1 785 ~ 2 582 mg/m^3，昼夜温差没有显著影响 CO_2 浓度。丁莹[10]研究了内蒙古四季规模化羊场舍内 CO_2 浓度变化规律，结果发现双坡式羊舍夏季 CO_2 浓度最高，为 1 323 mg/m^3，但与其他季节无显著差异。陈家宏等[11]在 3 种南方羊舍夏季小

气候环境对比研究中发现，饲养密度与 CO_2 排放量有强相关性，但与温度无相关性。

反刍动物 98.7%的 CH_4 主要是瘤胃发酵产生，其中约 82%的 CH_4 主要是通过瘤胃甲烷菌以 CO_2 和 H_2 为底物，由一系列酶和辅酶合成 CH_4，其中纤维分解菌等对饲粮中的植物纤维、碳水化合物等厌氧发酵，最终产物为挥发性脂肪酸(VFA)，经过一系列化学反应也生成 CH_4。本试验结果发现，环境温度对 CH_4 排放有极显著影响，20~25 ℃时呼吸代谢室内 CH_4 排放量最低，为 13.06 L/d，但 10~15 ℃为 27.80 L/d，这可能是因为温度升高使肉羊干物质采食量显著降低，导致低温环境瘤胃发酵时间延长。赵一广[12]研究饲粮不同采食水平对肉用绵羊 CH_4 排放的影响，结果发现 CH_4 排放量与干物质采食量呈极显著线性关系：CH_4 与干物质采食量的估测方程为 CH_4（L/d）=44.034×DMI(kg)-6.514(R^2=0.680 1，P=0.000 5)。蔡丽媛[13]研究热应激环境对山羊瘤胃发酵的影响，结果发现热应激条件下瘤胃 TVFA 产量下降，乙酸浓度降低，丙酸和丁酸浓度升高，CH_4 排放量降低。陈昌明等[14]研究夏季高温对水牛瘤胃代谢的影响，结果发现夏季高温期间，试验水牛的呼吸率、瘤胃温度和直肠温度升高，采食量减少，饮水量增加，瘤胃液流速减缓，高温初期出现瘤胃微生物代谢速率升高，但持续高温会抑制瘤胃微生物代谢速率，乙酸/丙酸降低，从而 CH_4 排放量减少。

3.2　环境温度对肉羊 NH_3 和 H_2S 排放的影响

NH_3 是畜舍内产生最多、危害最大的有害气体，易溶于家畜呼吸道黏膜，造成组织损伤、黏膜充血、红肿，甚至引起肺部出血和组织缺氧等危害[15]。室内 NH_3 起初主要由粪便中的碳水化合物、蛋白质和脂肪分别被微生物和细胞外酶水解为单糖、氨基酸和脂肪酸，有机酸和可溶性含氮化合物被分解为 NH_3、胺、氮等。还有一部分来自“嗳气”，瘤胃细菌产生活性很强的脲酶，尿素进入瘤胃被脲酶很快分解为 NH_3，当瘤胃微生物来不及利用时，就有少量排出体外。本试验结果表明，环境温度极显著影响呼吸代谢室内 NH_3 浓度，在 30~35 ℃呼吸代谢室内 NH_3 浓度分别显著高于 10~15 ℃和 20~25 ℃呼吸代谢室内 NH_3 浓度，这是因为粪便脲酶活性适宜温度在 40~50 ℃，在 50 ℃以下脲酶活性比较稳定，而本试验设计温度为 10~35 ℃，所以随温度升高脲酶活性增大，加快了微生物对蛋白类物质的分解，使粪中更多的 NH_4^+转化为 NH_3，同时也加剧了粪便氨化细菌、亚硝化细菌及硝化细菌活性，因此在高温好氧条件下 NH_3 排放量高。陈世和等[16]研究了城市生活垃圾堆肥化处理过程中的微生物特性，并在温度达 45 和 55 ℃时,从堆肥中分离出芽孢杆菌和肠道杆菌等 19 种菌株，并测定

了其蛋白酶、脂肪酶、果胶酶和纤维素酶的活性，结果表明在 55 ℃，19 种菌株的平均酶活性高于 45 ℃时的菌株酶活性。Aarnink 等[17]研究发现畜舍内温度每升高 1 ℃，NH_3 排放量增加 6%~7%。Ni 等[18]研究了温度和通风速率对 NH_3 排放的影响，结果证明加热可以迅速升高猪舍内 NH_3 浓度，加热前后 NH_3 浓度分别为 94、167 g/h，结束加热 1 h 后排放速率为 68 g/h。代小蓉[19]研究猪舍 NH_3 日排放规律发现，在 13:00~17:00，NH_3 排放量占全天排放量的 33%，表明 NH_3 排放主要在高温时间段。畜舍 NH_3 排放也呈明显的季节性变化规律，随温度升高，畜舍内 NH_3 浓度逐渐增大，刘凤芝等[20]在春、夏、秋和冬 4 个季节测定鸡场中 NH_3 浓度发现，夏季 NH_3 浓度显著高于其他季节，这也表明高温环境可以显著升高畜舍内 NH_3 浓度。但本次试验中，环境温度对呼吸代谢室内 H_2S 排放量无显著影响，这原因可能是一方面反刍动物采食主要以粗饲料为主，消化代谢产物含硫等有机物较少，而 H_2S 主要来自粪中微生物对含硫有机物降解；另一方面是 H_2S 主要在厌氧条件下降解，所以有氧环境抑制 H_2S 发生。Monteny 等[21]通过长时间监测猪舍内 H_2S 气体浓度，发现猪舍内 H_2S 浓度低于 7.5 mg/m^3。高淑霞等[22]通过对笼养兔舍内 NH_3、H_2S 测定，结果发现 NH_3 浓度为 1.4 mg/m^3，H_2S 未检出，与本试验结果一致，这表明畜舍内有害气体主要以 NH_3 为主，但也有较低浓度的 H_2S。

3.3　环境温度对呼吸代谢室内环境微生物的影响

畜舍内空气微生物数量是评价畜舍空气环境卫生质量的重要指标之一，动物体本身就是各种病原微生物的携带者，反刍动物瘤胃、消化道内含有大量细菌、原虫和真菌，通过呼吸、打喷嚏和动物粪便向外界环境传播，还可借助气流传播到较远的距离，导致疾病的流行，影响人类和畜禽免疫力及生产性能[23]，如当猪保育舍环境中大肠杆菌数量较多时，将显著增加仔猪的腹泻发病率，甚至导致死亡。本研究结果表明，随温度升高呼吸代谢室内大肠杆菌、沙门氏菌和总菌数量显著升高，这是因为肉羊在高温环境条件下活动量增大，使室内空气中悬浮颗粒物增多，同时温度升高也可加快空气中悬浮颗粒物的运动速率，导致单位体积微生物数量增多[24-27]。司红丽等[27]报道指出舍内空气微生物数量随温度与饲养密度的升高而升高。王涛等[28]对乌鲁木齐市冬季 10 个养殖场舍内空气微生物数量检测发现，舍内空气微生物数量与温度呈正相关关系，优势菌群为大肠杆菌。熊云梅[29]研究发现羊场四季气载需氧活菌数量及葡萄球菌浓度变化相对稳定，其变化趋势为春季<秋季<冬季<夏季，表明在高温和高

湿环境条件下，适宜细菌繁殖，导致畜舍环境有害微生物数量较多。

3.4 环境温度对肉羊血清生化指标的影响

动物处于高温高湿环境时，动物开始出现体温和呼吸频率升高、采食量和反刍频率降低等热应激反应，动物开始利用自身的防御系统克服热应激造成的不良影响，使机体保持相对恒温状态。宋小珍等[30]研究热应激对肉牛血清激素和生理指标的影响，发现试验牛的呼吸频率、腹泻率、血清 LDH 活性均显著高于非热应激期，血清皮质醇（COR）浓度在第 20 天显著升高，而后逐渐恢复正常，表明生理指标不仅与热应激有关，而且也与热应激持续时间有强相关性。李俊杰等[31]研究热应激对公牛血清生化指标的影响，结果发现肉用种公牛夏季血清谷丙转氨酶（GPT）和谷草转氨酶（GOT）活性最高，而血清 CK 活性趋于较低水平。本次试验中，环境温度对肉羊 CO_2 排放没有显著影响，这也证明在 10~35 ℃动物生理活动基本处于稳恒状态，高温对肉羊生理活动没有产生显著影响。肉羊血清 CK 活性随温度的升高逐渐降低，与上述报道不同，但杨玉英等[32]研究不同温度对中国荷斯坦奶牛血液生化指标的影响，结果发现血清 CK 活性随着温度的上升而呈波动性下降趋势，在 25 ℃时显著低于其他温度（5、10、15、20 ℃），这与宋小珍等[30]和王士长等[3]关于 CK 的研究结果不一致。CK 是一种与细胞内能量运转、肌肉收缩、ATP 再生有直接关系的重要激酶，且酶活力升高持续时间比较短，2~4 d 恢复正常。这也说明此酶与热应激持续时间有关，如罗宗刚等[33]、蔡明成等[34]研究发现，热应激初期肉牛血清中 CK 活性随应激持续时间的延长而升高。这种不规律的变化可能是受热应激持续时间和不同品种动物对热应激敏感性的影响，但其深层次原因和机理有待于进一步研究。

4 结 论

① 本研究结果表明，温度对肉羊呼吸代谢室内 CO_2 排放量无显著影响；10~15 ℃呼吸代谢室内 CH_4 排放量极显著高于 20~25 ℃和 30~35 ℃呼吸代谢室内 CH_4 排放量，20~25 ℃呼吸代谢室内 CH_4 排放量在各个时间点浓度最低。

②呼吸代谢室内大肠杆菌、沙门氏菌和总菌数量随温度升高显著增加，但金黄色葡萄球菌数量无显著差异。

② 温度对肉羊血清 CORT、IgG 浓度及 CK、LDH 活性无显著影响。

参考文献：

[1] 周明涵,丁玉萍,刘冬梅,等.豆奶、豆粉生产中钝化尿酶活性最佳工艺参数研究[J].食品科技,2001(5):19–20.

[2] 李季,王同心,姚卫磊,等.畜禽舍氨气排放规律及对畜禽健康的危害[J].动物营养学报,2017,29(10):3472–3481.

[3] 王士长,陈静,黄怡,等.热应激对肉鸡生产性能和血清生化指标的影响[J].中国家禽,2007(15):11–13.

[4] 刘庆华,王根林.热应激对奶牛血液流变学指标及血清无机离子浓度和酶活性的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2007,36(3):284–287.

[5] 杨华明,张国梁,梁浩,等.新型开放式呼吸测热装置设计及应用试验[J].安徽农业科学,2010,38(25):13727–13729.

[6] 班志彬,梁浩,杨华明.大型动物"开放回流式呼吸测热装置"的研制及应用试验[J].中国畜牧兽医文摘,2014,30(2):185–187.

[7] 齐锡位,张爱玲.奥氏公式及空气沉降菌的计量单位[J].实用预防医学,2000,7(2):148.

[8] 陈家宏.江淮地区羊舍环境检测及养羊新设施研制[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2013.

[9] 欧阳宏飞.新疆冬季密闭羊舍的空气环境质量的监测与调控技术的研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2008.

[10] 丁莹.内蒙古地区规模化羊场羊舍环境评价及排污量分析[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.

[11] 陈家宏,郭晓飞,黄桠锋,等.3种南方羊舍夏季小气候环境的对比分析[J].安徽农业大学学报,2013,40(5):710–715.

[12] 赵一广.肉用绵羊甲烷排放的测定与估测模型的建立[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[13] 蔡丽媛.集约化羊舍的环境控制及热应激对山羊瘤胃发酵的影响[D].博士学位论文.武汉:华中农业大学,2015.

[14] 陈昌明,韩正康,除伟华.夏季高温对水牛瘤胃代谢的影响[J].应用生理学杂

志,1986,2(4):44–50.

[15] 张宏福.环境生理在畜禽健康养殖中的研究与应用[J].中国家禽,2015,37(24):1–4.

[16] 陈世和,张所明,宛玲,等.城市生活垃圾堆肥处理的微生物特性研究[J].上海环境科学,1989,8(8):17–21.

[17] AARNINK A J A,ELZING A.Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors,for fattening pigs[J].Livestock Production Science,1998,53(2):153–169.

[18] NI J Q,HEBER A J,DIEHL C A,et al.SE—structures and environment:ammonia,hydrogen sulphide and carbon dioxide release from pig manure in under-floor deep pits[J].Journal of Agricultural Engineering Research,2000,77(1):53–66.

[19] 代小蓉.集约化猪场NH_3的排放系数研究[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2010.

[20] 刘凤芝,孙合美,辛国琴,等.不同季节鸡舍内空气环境的检测与评价[J].中国畜牧杂志,2013,49(2):59–61.

[21] MONTENY G J,VOERMANS J A M.Ammonia and odour control from animal production facilities:review of the international symposium held at Vinkeloord,The Netherlands,6–10 October 1997[J].Cirugia Cardiovascular,1998,23(1):1–7.

[22] 高淑霞,孙海涛,杨丽萍,等.冬季兔舍内温湿度及气体检测[J].中国养兔,2016(1):19–21.

[23] 伍清林,金兰梅,葛继文,等.乳牛舍内环境空气中细菌数量与乳房炎的关系研究[J].中国奶牛,2010(1):39–42.

[24] 唐芳, 高静, 靳玉舒, 等.山西省某舍饲羊场环境微生物的检测与分析[C]//中国畜牧兽医学会兽医病理学分会第二十一次学术研讨会暨中国病理生理学会动物病理生理专业委员会第二十次学术研讨会论文集. 太原:中国畜牧兽医学会兽医病理学分会,2015.

[25] 张晓丹.猪舍环境大肠杆菌耐药性及其向周边环境传播的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2015.

[26] 黄藏宇.猪场微生物气溶胶扩散特征及舍内空气净化技术研究[D].硕士学位论文.杭州:浙江师范大学,2012.

[27] 司红丽.气温升高对畜牧业的恶劣影响不容小视——养殖业面临严峻考验[J].中国动物保健,2007(9):45.

[28] 王涛,蔡扩军,李爱巧,等.乌鲁木齐市冬季养殖场畜禽舍内空气 微生物含量的初步调查研究[J].新疆畜牧业,2017(2):36–38.

[29] 熊云梅.牛、羊场环境中气载需氧菌及金黄色葡萄球菌的检测与散播研究[D].硕士学位论文.太谷:山西农业大学,2016.

[30] 宋小珍,付戴波,瞿明仁,等.热应激对肉牛血清内分泌激素含量、抗氧化酶活性及生理生化指标的影响[J].动物营养学报,2012(12):2485–2490.

[31] 李俊杰,桑润滋,田树军,等.热应激对肉用种公牛精液品质及血清生化指标的影响[J].河北农业大学学报,2002(2):71–75.

[32] 杨玉英,李士泽,袁学军,等.不同环境温度对中国荷斯坦奶牛血液某些生化指标的影响[C]//庆祝黑龙江省免疫学会成立十周年（1993—2003）论文集.北京：中国免疫学会，2003.

[33] 罗宗刚,王玲,蔡明成,等.热应激对不同杂交组合肉牛生理指标和血液生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2015,51(11):82–85.

[34] 蔡明成.热应激对肉牛生理生化指标及外周血microRNA表达水平的影响[D].硕士学位论文.重庆:西南大学,2014.

Effects of Ambient Temperature on Harmful Gas Emission, Environmental Microorganism and Serum Biochemical Indexes of Mutton Sheep

ZHU Wei[1,2] FENG Peigong[2] MA Junjun[2] ZHANG Ran[2] ZHENG Chen[2]

YANG Huaming[1] BAN Zhibing[1] LIANG Hao[1] YAN Xiaogang[1*]

(1. *Branch Academy of Animal Science, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling* 136100, *China*；2. *Gansu Agriculture University*, *Lanzhou* 730070, *China*)

Abstract: The purpose of this study was to investigate effects of ambient temperature on the concentrations of oxygen (O_2), carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), ammonia (NH_3) and hydrogen sulfide (H_2S) and count of environmental microorganisms in respiratory metabolic chamber, and serum biochemical indexes of mutton sheep. A single factor design was used with 3 environmental temperature ranges of 10 to 15 °C, 20 to 25 °C and 30 to 35°C. Twenty-four healthy crossbreed rams (*Dorper* ♂×*Small tail Han-Yang* ♀) at 1 day of age with a similar weight of (35.34±1.07) kg were randomly divided into 3 groups with 8 sheep in each group. The preliminary

trial period was 7 d, and formal trial period was 10 d. During the trial period, the gas concentrations and number of environmental microorganisms were measured by metabolism chamber. At the morning of day 10, blood sample was collected from sheep to determine the concentrations of cortisone (CORT) and immunoglobulin (IgG) and the activities of creatine kinase (CK) and lactate dehydrogenase (LDH) in serum of sheep. The results showed as follows: 1) temperature had significantly effect on CH_4 and NH_3 concentrations in the metabolism chamber (P<0.01), CH_4 emission at 10 to 15 ℃ in the metabolism chamber was significantly higher than that at 20 to 25 ℃ and 30 to 35 ℃ (P<0.01), NH_3 emission at 30 to 35 ℃ in the metabolism chamber was significantly higher than that at 10 to 15 °C and 20 to 25 °C (P<0.01), but there was no significant effect on CO_2 and H_2S emissions (P>0.05). 2) Count of *E. coli* at 30 to 35 °C in the metabolism chamber was significantly higher than that at 10 to 15 °C and 20 to 25 °C (P<0.01). Count of *Salmonella* and total bacteria at 30 to 35°C and 20 to 25°C in the metabolism chamber were significantly higher than that at 10 to 15 °C (P<0.01). 3) The temperature had no significant effect on the concentrations of CORT, IgG and activities of CK and LDH in serum of sheep (P>0.05). In conclusion, different ambient temperatures can effect harmful gas emission and count of environmental microorganism, but has no effect on serum biochemical indexes of sheep.

Key words: temperature；sheep；harmful gas；microbe；serum biochemical index

* Corresponding author, associate professor, E-mail: yanxiaogang1977@163.com (责任编辑 陈 鑫)